

Гаранин В.Н. (БГТУ, г. Минск, РБ) victor-garanin@tut.by

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ *ENERGY COMPONENT OF PROCESS OF WOOD PLANING*

Повышение скорости взаимодействия режущего элемента инструмента с обрабатываемым древесным материалом ведет к снижению времени возникновения сил резания и тем самым снижает ударный импульс, действующий на резец. Однако с другой стороны при этом повышаются инерционные силы, действующие на привод механизма резания как со стороны стружки на резец, так и со стороны неуравновешенности деталей привода, что приводит к обратному эффекту. Оценим влияние некоторых выше представленных факторов на импульс, силу и мощность фрезерования древесины. Для этого воспользуемся некоторыми общими законами механики и сопротивления материалов с учетом динамики процесса взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом.

При открытом фрезеровании энергия привода механизма резания расходуется на:

- 1) Получение требуемой поверхности (разделение материала) (Эр);
- 2) Придание кинетической энергии стружки (удаление материала) (Эк);
- 3) Образование стружки (ее смятие и трение сопрягаемых поверхностей) (Эсм).

Первая составляющая зависит от свойств материала и его ширины. Воспользуемся данными эксперимента по внедрению резца в испытываемый материал, Дж

$$\dot{Y}_r = \frac{F(\delta=0)}{b_0} b \cdot l = f_b(x) \cdot b \cdot l \quad (1)$$

где $f_b(0)$ – единичная сила сопротивления разделению материала, Н/мм;
 $F(\delta=0)$ – средняя сила внедрения при нулевом угле заострения, Н.

Таблица 1 – Анализ экспериментальных данных [1]

Порода	ψ , град	Сила $F(0)$, Н	b_0 , мм	$f_b(0)$, Н/мм
сосна	0	0,034	14,2	0,00239
	90	0,053	14,0	0,00379
береза	0	0,027	12,5	0,00216
	90	0,059	12,7	0,00465
дуб	0	0,027	10,2	0,00265
	90	0,071	9,0	0,00789

Для продольно торцевого фрезерования промежуточная единичная сила находится по зависимости, Н/мм

$$f_b(\psi) = f_b(0) \cdot \frac{l_{\parallel}}{l_{\parallel} + l_{\perp}} + f_b(90) \cdot \frac{l_{\perp}}{l_{\parallel} + l_{\perp}} \quad (2)$$

где l_{\parallel} – длина хода резца вдоль волокон, мм;
 l_{\perp} – длина хода резца поперек волокон, мм.

Составляющая импульса на разделение материала, Нс

$$p_r = \frac{F(\delta=0)}{b_0 \cdot V_e} b \cdot \overset{\cup}{l} = f_b(0) \cdot b \cdot \frac{l}{V_e} \quad (3)$$

Составляющая мощности на разделение материала, Вт

$$P_r = \frac{F(\delta=0)}{b_0} b \cdot V_e = f_b(0) \cdot b \cdot V_e \quad (4)$$

Находим вторую составляющую мощности резания при условии, что падение скорости на дуге контакта пренебрежительно мало.

Сила инерции стружки, Н

$$F_i = m \cdot \frac{V_e}{T} = S_z \cdot b \cdot h \cdot \rho \cdot \frac{V_e}{T} = e \cdot b \cdot \rho \cdot V_e^2 \quad (5)$$

где m – масса стружки, кг;

T – время взаимодействия резца с материалом, с;

ρ – плотность материала, кг/м³.

Энергия, затрачиваемая на придание кинетической энергии стружке, Дж

$$\mathcal{E}_i = e \cdot b \cdot \rho \cdot V_e^2 \cdot \sqrt{h \cdot D} \quad (6)$$

Составляющая импульса взаимодействия от инерции стружки, Нс

$$p_i = e \cdot b \cdot \rho \cdot V_e \cdot \sqrt{h \cdot D} \quad (7)$$

Составляющая мощности на резание от инерции стружки, Вт

$$P_i = e \cdot b \cdot \rho \cdot V_e^3 \quad (8)$$

Как видим, при повышении скорости резания импульс и мощность растут по-разному. Причем повышение скорости ведет к снижению импульса, что положительно сказывается на стойкости инструмента, однако значительное повышение мощности не позволяет использовать большие скорости при фрезеровании древесных материалов.

Третья составляющая затрат мощности на резания обусловлена конструкцией инструмента, поскольку для обеспечения жесткости режущей кромки резцу придается определенный угол заострения. Чем больше требуется жесткость, при резании более прочного материала, тем этот угол выше. В свою очередь, на смятие и трение материала о резец расходуется большая часть энергии. Снижение затрат в этом направлении позволит значительно снизить энергопотребление при резании древесных материалов и повысить тем самым стойкость инструмента.

Снизив смятие материала и его трение о рабочие поверхности при своевременном удалении стружки из зоны резания, можно обеспечить оптимальные условия получения поверхности методом фрезерования с точки зрения экономии энергии.

Определим третью составляющую затрат мощности через установление теоретическим и экспериментальным путем общих затрат мощности в зависимости от переменных факторов.

С целью нахождения оптимальной скорости резания материала рассмотрим случай простого внедрения резца в материал.

Обозначим скорость распространения напряжения сжатия материала перпендикулярно направлению волокон V_1 , а параллельно направлению волокон – V_2 .

Представим расчетную схему выполненного опыта на рисунке 1.

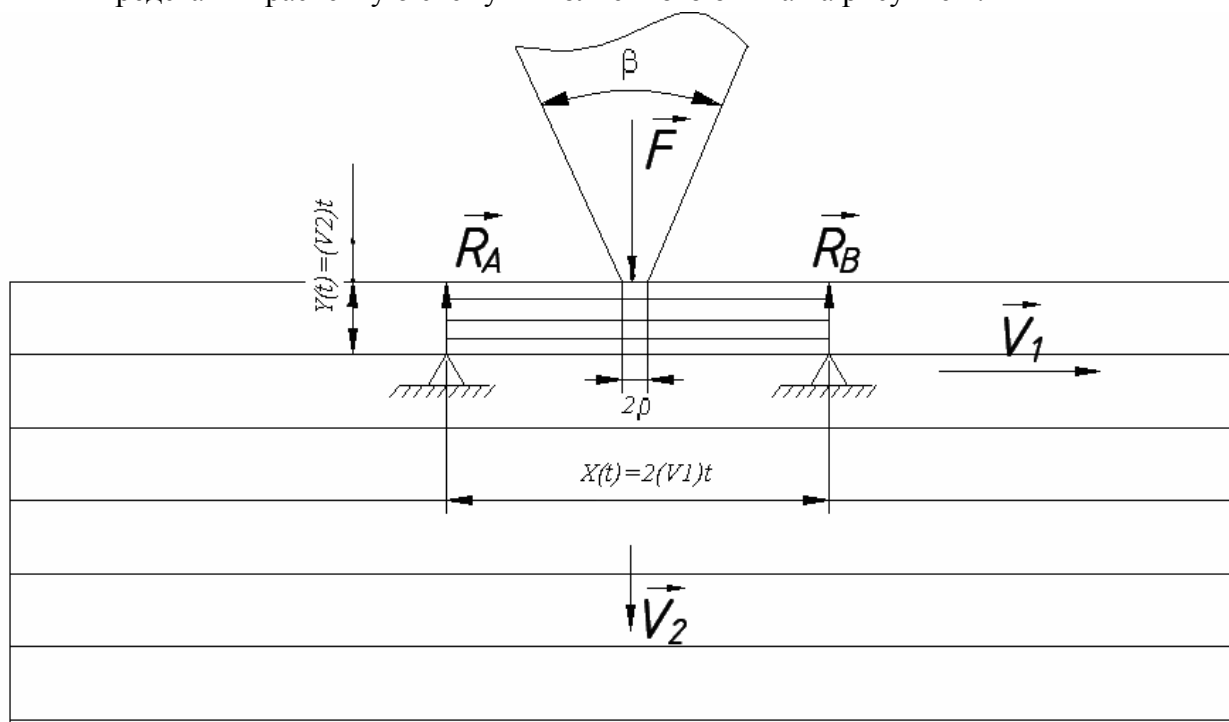


Рисунок 1 – Расчетная схема

Напряжение сжатия у лезвия инструмента:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{F}{b} \left(\frac{3 \cdot V_1}{V_2^2 \cdot T} + \frac{1}{2 \cdot (V_e \cdot T \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + \rho)} \right) \quad (9)$$

где b – длина режущей кромки, м

F – приложенная сила, Н

T – время смятия материала, с

ρ – радиус затупления режущей кромки, м

V_e – скорость резца, м/с

Для создания требуемого для разрушения материала в зоне контакта напряжения сжатия σ , необходимо приложить силу:

$$F = \frac{\sigma \cdot b}{\left(\frac{3 \cdot V_1}{V_2^2 \cdot T} + \frac{1}{2 \cdot (V_e \cdot T \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + \rho)} \right)} \quad (10)$$

Время смятия материала зависит от угла заострения резца, его затупления, физико-механических свойств обрабатываемого материала, а также скорости внедрения самого резца.

С точки зрения качества обработанной поверхности оптимальным временем сжатия T можно считать промежуток времени, за который волна напряжения сжатия перпендикулярно волокнам пройдет путь равный расстоянию между слоями, т. е.

$$\dot{O} = \frac{\dot{a}}{V_2} \quad (11)$$

где a – расстояние между волокнами, м

В этом случае волокно, которое взаимодействует с режущей кромкой, не отслоится от предыдущего волокна, не вызвав при этом трещину или скол.

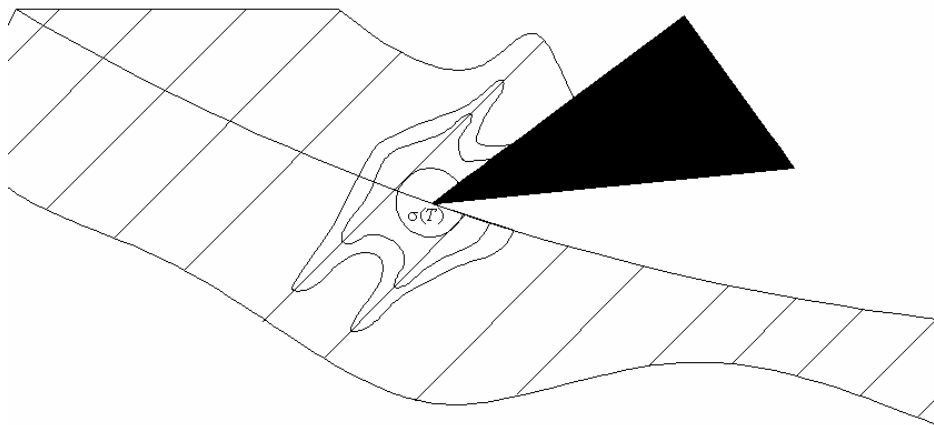


Рисунок 2 – Распределение напряжений сжатия в неоднородном обрабатываемом материале от режущей кромки

Тогда перепишем зависимость (10), Н

$$F = \frac{\sigma \cdot b}{\left(\frac{3 \cdot V_1^2}{V_2^2 \cdot a} + \frac{1}{2 \cdot (V_e \cdot \frac{a}{V_2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + \rho)} \right)} \quad (11)$$

Мощность на взаимодействие при внедрении в материал, Вт

$$P = F \cdot V_e = \frac{\sigma \cdot b \cdot V_e}{\left(\frac{3 \cdot V_1^2}{V_2^2 \cdot a} + \frac{1}{2 \cdot (V_e \cdot \frac{a}{V_2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + \rho)} \right)} \quad (12)$$

Рассмотрим пример внедрения клина в материал из сосны с влажностью 12%, которая имеет модуль упругости вдоль и поперек волокон 11,3 и 1,74 МПа соответственно. Плотность – 500 кг/м³, $\psi=90^\circ$ град.

Находим скорость распространения напряжения сжатия по направлениям.

$$V_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{11300000}{500}} = 150 \text{ м/с}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{1740000}{500}} = 59 \text{ м/с}$$

Среднее расстояние между слоями – $a=0,847$ мм

Радиус затупления резца – 10 мкм.

Ширина фрезерования – 10 мм.

Напряжение разделения – 53,3 МПа (при $\delta=35^\circ$) [1]

Представим на рисунках (3-5) зависимости силы воздействия резца на заготовку и мощность на внедрение резца в зависимости от скорости резца.

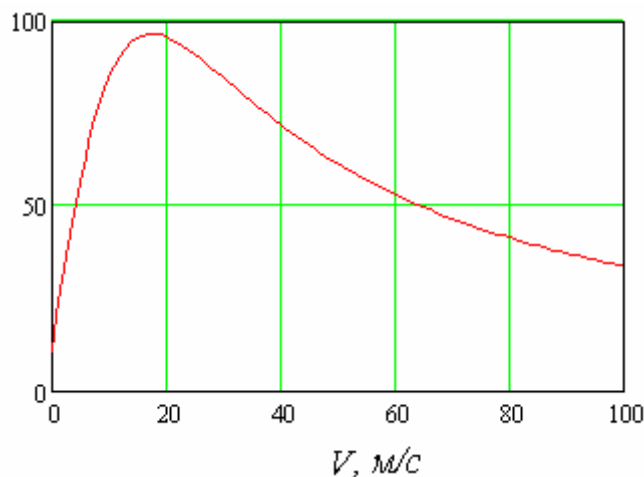


Рисунок 3 – Касательная сила резания без учета сил инерции со стороны стружки

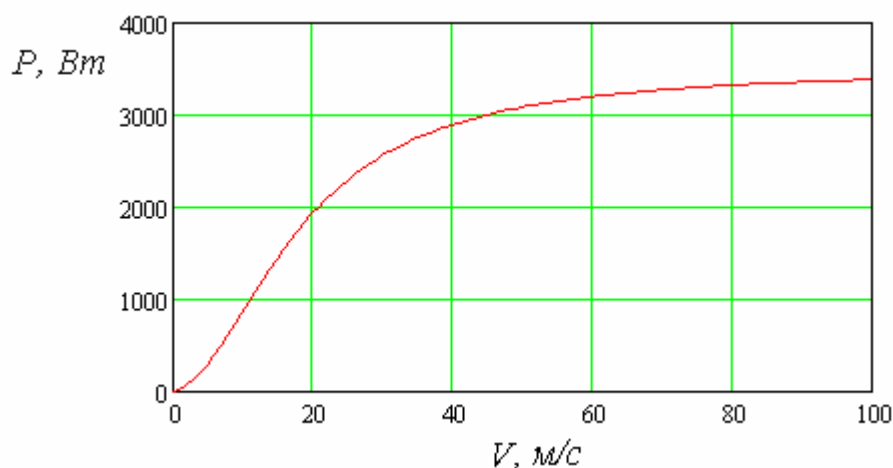


Рисунок 4 – Мощность резания без учета сил инерции со стороны стружки

Анализируя графики можно утверждать, что оптимальная скорость внедрения при данных условиях находится при $V \rightarrow \infty$, что не позволяет обосновать используемые скорости резания древесных материалов с точки зрения минимизации сил.

Сравним процесс внедрения клина в материал с взаимодействием резца с обрабатываемым материалом при открытом фрезеровании древесных материалов. Изобразим схему процесса фрезерования на рисунке 5.

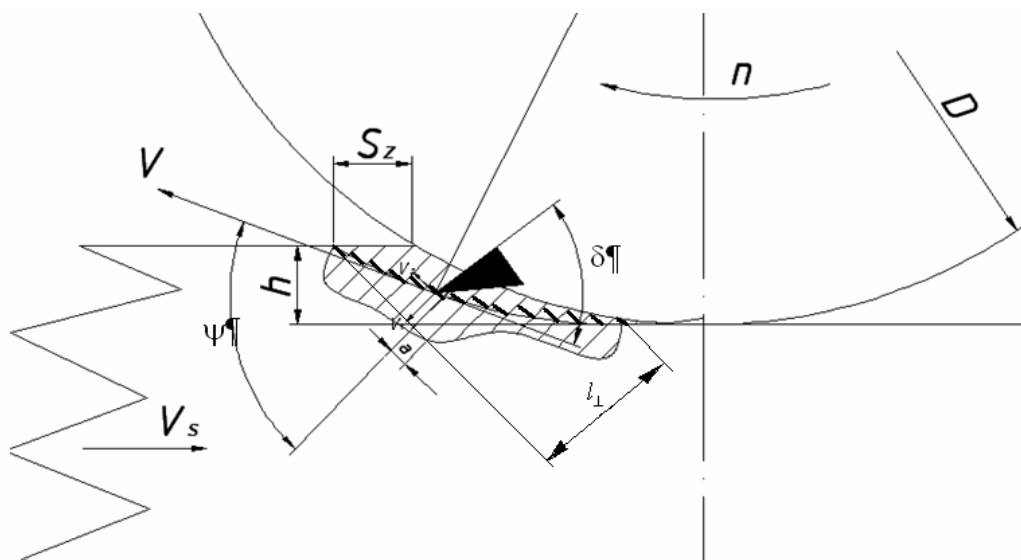


Рисунок 5 – Схема процесса фрезерования древесного материала

Для данной схемы перепишем зависимости (11) и (12):

$$F = \frac{\sigma(\psi, \delta) \cdot b}{\left(\frac{3 \cdot V_1^2}{V_2^2 \cdot a} + \frac{1}{2 \cdot (V_e \cdot \frac{a}{V_2} \cdot \operatorname{tg} \delta + \rho)} \right)} \quad (13)$$

$$P = \frac{\sigma(\psi, \delta) \cdot b \cdot V_e}{\left(\frac{3 \cdot V_1^2}{V_2^2 \cdot a} + \frac{1}{2 \cdot (V_e \cdot \frac{a}{V_2} \cdot \operatorname{tg} \delta + \rho)} \right)} \quad (14)$$

где $\sigma(\psi, \delta)$ – среднее напряжение внедрения клина в материал в зависимости от угла резания и направления скорости главного движения к направлению волокон.

$$\sigma(\psi, \delta) = \sigma(0, \delta) \cdot \frac{l_{\parallel}}{l_{\parallel} + l_{\perp}} + \sigma(90, \delta) \cdot \frac{l_{\perp}}{l_{\parallel} + l_{\perp}} \quad (15)$$

Однако с учетом сил инерции действующих на резец со стороны стружки (при $e=0,55\text{мм}$) представленные графики будут иметь вид, представленный на рисунках 6 и 7.

При скоростях выше 80 м/с увеличивается сила резания за счет инерционных сил со стороны стружки. При малых объемах стружки это увеличение незначительное (при пилении). Именно этим и объясняются более высокие скорости резания древесных материалов при пилении.

Использование малых промежутков времени при взаимодействии резца с древесным материалом снижает не только импульс воздействия инструмента на материал, но и величину распространения напряжений в изотропном материале. При этом значительно повышается качество срезаемого слоя.

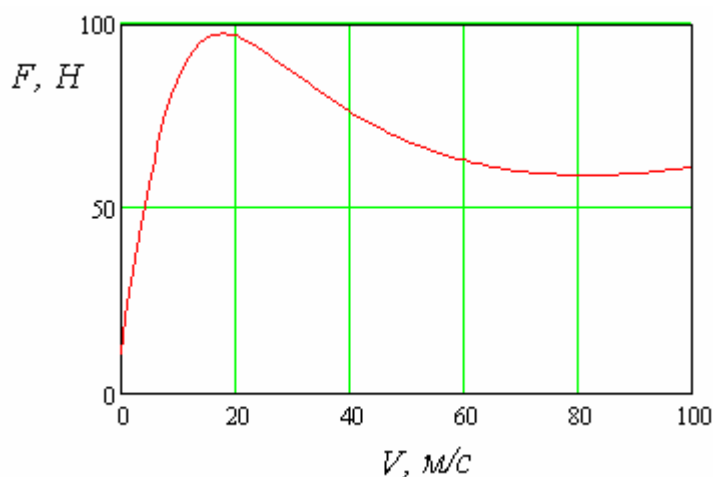


Рисунок 6 – Касательная сила резания с учетом сил инерции со стороны стружки

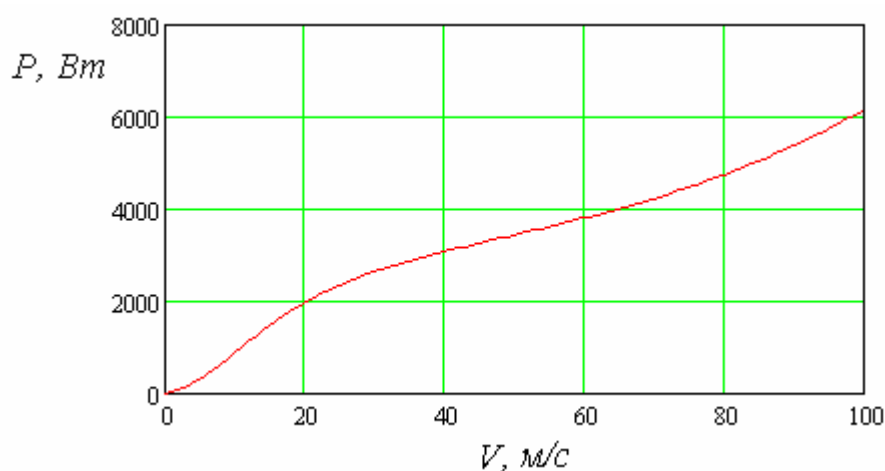


Рисунок 7 – Мощность резания с учетом сил инерции со стороны стружки

Снижение импульса за счет снижения времени взаимодействия (повышая скорость резания) не всегда оправдано, поскольку повышаются динамические нагрузки в самом приводе механизма резания, а также требуется больше мощности. Согласно зависимости (13) снизить силовые показатели процесса разделения древесного материала можно путем снижения напряжения сжатия (зависящего от угла резания). Что одновременно позволяет повысить качество среза.

Выводы.

При скоростях резания выше 60 м/с значительный вклад в энергетическую составляющую процесса резания материала вносит сила инерции стружки.

Снижение энергетических затрат на используемых режимах обработки древесины и древесных материалов возможно за счет снижения потерь энергии на смятие стружки, а также используя технологию удаления стружки без придания ей окружной скорости резания.

Повышение скорости резания благоприятно сказывается на снижении ударного импульса, что повышает стойкость твердосплавного инструмента. С другой стороны это повышение ведет за собой повышение мощности на резание. Поэтому снижение ударного импульса следует вести не путем повышения скорости резания, снижая время

взаимодействия резца с обрабатываемым материалом, а путем изменения конструкции дереворежущего инструмента.

Использование скоростей резания меньше 15 м/с возможно только при обеспечении достаточной инерционности привода резания, чтобы запастись требуемый запас энергии для обеспечения постоянства скорости резания на дуге контакта, а также обеспечив длительную остроту режущих элементов, поскольку при низкой V_c , значительный вклад в изменение напряжений сжатия в материале вносит радиус затупления инструмента.

Библиографический список

1. Гаранин, В. Н. Результаты экспериментальных исследований, определяющие влияние угла атаки на силу и мощность процесса открытого резания древесины / В. Н. Гаранин // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XV.

Глебов И.Т. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) GIT5@yandex.ru

О СВЯЗИ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ СТЕЛЛИТИРОВАННЫХ ПИЛ С РЕЖИМОМ ПИЛЕНИЯ

ABOUT COMMUNICATION OF THE PERIOD SAWS FIRMNESS OF WITH THE CUTTING MODE

Статья написана в порядке постановки задачи и выводы по ней нуждаются в экспериментальной проверке.

Для пиления древесины в России используют пилы отечественного производства: рамные (ГОСТ 5524-75), ленточные (ГОСТ 6532-77 и ГОСТ 10670-77), круглые (ГОСТ 980-80). Пилы изготавливают из инструментальной легированной хромованадиевой стали 9ХФ. После термообработки пилы имеют твердость 41...47 HRCэ. Одним из показателей качества работы пил является период стойкости.

Период стойкости – это время резания новым или восстановленным режущим лезвийным инструментом от начала резания до отказа [1].

Отказ режущего инструмента – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния пилы, когда наступает ее неработоспособное состояние. Различают несколько параметрических отказов.

Отказ по параметру “стойкость” – это постепенный отказ режущего лезвийного инструмента при достижении им критерия затупления. При отказе становится невозможно обработать деталь с заданными параметрами шероховатости или недопустимо повышается уровень шума станка и расход электроэнергии. Обычно этот отказ наступает через 3,5...4,0 ч. работы пилы. Режущие кромки зубьев пил затупляются настолько, что шероховатость распиленных поверхностей и мощность на пиление превосходят нормативные значения. Пилы снимают со станка и направляют на переточку.

Отказ по параметру “точность” – постепенный отказ режущего лезвийного инструмента после достижения размером, формой или расположением обработанной